

3

O Mecanismo de Governança Baseado em Testemunhos

A solução proposta neste trabalho é um mecanismo de governança baseado em testemunhos. Os testemunhos são enviados pelos agentes da aplicação para o mecanismo de governança, atestando fatos ou eventos que podem estar relacionados a violações de normas.

Todo agente que entrar em um ambiente regulado por este tipo de abordagem estará desempenhando um papel, que estará relacionado a um determinado conjunto de normas que devem ser obedecidas. As normas regulam as ações dos agentes e podem ser violadas. Isto acontece pelo fato de alguns tipos de ações executadas pelos agentes e seus estados internos não serem observáveis, portanto, não é possível assumir que se tenha controle total sobre os agentes que devem ser regulados [15]. Porém, aspectos do ambiente são observáveis. Agentes são capazes de observar fatos ou eventos do ambiente em que eles estão inseridos e que eles sabem estarem relacionados à violação de normas, já que eles devem conhecer as normas estabelecidas pela sociedade de agentes. A partir dessa observação, agentes podem enviar testemunhos relatando a ocorrência desses fatos.

Agentes podem perceber violações de normas por receberem mensagens que não deveriam ter sido enviadas ou por não receberem mensagens que deveriam ter sido enviadas. Agentes também podem perceber violações de normas por observarem a execução de uma ação que não deveria ter sido executada (agentes podem observar a execução da ação ou fatos que são consequência da execução de uma ação). Agentes também podem perceber violações de normas por observarem a não execução de uma ação que deveria ter sido executada (agentes não observaram a execução da ação ou não observaram fatos que são consequência da execução de uma ação). As mensagens e ações que deveriam ou não deveriam, poderiam ou não poderiam ser enviadas e executadas devem ser especificadas nas normas que devem ser conhecidas pelos agentes.

Para tratar as violações, cada norma deve estar relacionada a um plano de ação que deve ser executado (pelo mecanismo de governança) quando esta é violada. Este plano deve conter não apenas punições, mas também medidas

reparadoras para recolocar o sistema em seu curso normal ou aceitável. O plano relacionado às medidas reparadoras está fora do escopo deste trabalho.

3.1

Hipóteses do Mecanismo de Governança

O mecanismo de governança baseado em testemunhos se baseia nas seguintes hipóteses:

Hipótese I: Todo agente deve conhecer as normas que se aplicam ao(s) papel(éis) que ele desempenha.

Assim como no mundo real, onde as pessoas sabem o que elas podem ou devem fazer, estamos assumindo que todo agente conheça as normas que são aplicadas às mensagens que ele é capaz de enviar e receber, bem como as normas que são aplicadas às ações que ele é capaz de executar. Quando um agente passa a habitar um ambiente para desempenhar um ou mais papéis ele deve ser capaz de adquirir conhecimentos sobre as normas que regulam aquele ou aqueles papéis. Isto é muito importante já que um agente, ao violar uma norma, deve ser capaz de escolher estar agindo dessa forma tendo conhecimento das suas conseqüências.

Hipótese II: Todo agente deve conhecer as normas que influenciam o seu comportamento.

Agentes devem conhecer as normas que regulam o comportamento de outros agentes quando a violação dessas normas afeta a sua execução. Quando um agente viola uma norma, outros agentes podem ser afetados por essa violação. Portanto, os agentes devem ter conhecimento sobre normas que se aplicam a outros agentes, quando a violação dessas normas interfere a sua execução, para poderem testemunhar fatos relacionados a sua violação. A possível violação dessas normas motiva os agentes a terem conhecimento sobre elas.

Hipótese III: Todo agente pode enviar testemunhos atestando violações de normas.

Como agentes conhecem normas que se aplicam a outros agentes, ele são capazes de observar violações de normas executadas por outros agentes e informar ao sistema de governança esta violação.

Hipótese IV: Algumas violações podem ser ignoradas ou não observadas.

O mecanismo proposto não obriga um agente a enviar seu testemunho quando ele observa uma violação de norma. O mecanismo proposto também não garante que todas as violações sejam observadas pelos agentes. Podem

acontecer casos onde violações de normas ocorram e nenhum agente testemunhe o fato. Para minimizar a quantidade de violações não observáveis, a especificação das normas deve ser feita de forma que existam pelo menos dois agentes relacionados a elas. O primeiro é aquele a quem a norma se aplica diretamente. O segundo é aquele que é afetado quando a norma é violada, e conseqüentemente, enviará um testemunho relatando o fato.

Hipótese V: Agentes podem enviar falsos testemunhos.

Em sistemas abertos, onde agentes são projetados e implementados sem um controle central, não há como garantir que tais agentes tenham sido corretamente implementados. Dessa forma, não há como garantir que todos os testemunhos estejam relacionados a violações de normas que realmente ocorreram. O mecanismo de governança então, deve ser capaz de verificar a veracidade dos testemunhos.

Hipótese VI: O mecanismo de governança pode possuir agentes especiais que enviam testemunhos que são sempre considerados verdadeiros (*Police Agents*).

O mecanismo de governança pode possuir agentes cujo objetivo único é verificar a ocorrência de violações de normas e enviar testemunhos sobre essas violações. Os testemunhos desses agentes são considerados sempre verdadeiros, já que tais agentes são projetados pelos próprios desenvolvedores da aplicação a ser instanciada (*“built-in”*), e portanto, sua arquitetura é conhecida e tem-se total controle sob seus estados internos, crenças e objetivos [15].

3.2 Arquitetura do Mecanismo de Governança

A técnica de decomposição é sugerida como forma de tratar a complexidade de sistemas, conforme descrito na seção 1.2. A arquitetura do mecanismo de governança define três sub-sistemas como ilustrado na figura 1.

O sub-sistema de julgamento é responsável por receber os testemunhos e prover uma decisão (um veredicto) atestando se o acusado realmente violou uma norma. Testemunhos são mensagens enviadas pelos agentes da aplicação ao sub-sistema de julgamento. Essas mensagens respeitam a especificação ACL (*Agent Communication Language*) proposta pela FIPA [50]. O conteúdo dessas mensagens, bem como sua estrutura serão apresentados no capítulo 4 deste trabalho. O sub-sistema de julgamento pode usar diferentes estratégias para julgar a violação de diferentes normas especificadas por cada aplicação. Algumas estratégias podem utilizar a reputação dos agentes fornecida pelo sub-

sistema de reputação para ajudar na conclusão de um veredicto. Confiança e reputação são aspectos importantes em sistemas abertos e podem ser utilizados como meio pelo qual os agentes podem avaliar a idoneidade de outros agentes [10]. Em [10][39], confiança é definida como uma probabilidade subjetiva utilizada para avaliar o quanto um agente é capaz de executar determinada ação. Em [39] os autores afirmam que confiança entre partes envolve diversos aspectos, entre eles a reputação das partes envolvidas. Já em [40], a reputação foi sugerida como um meio de resolução de conflitos. A abordagem proposta neste trabalho utiliza a confiança para avaliar o nível de veracidade dos testemunhos enviados pelos agentes da aplicação. Esta confiança é medida segundo a reputação desses agentes.

O sub-sistema de reputação [16] calcula e mantém a reputação dos agentes da aplicação e a informa ao sub-sistema de julgamento e aos próprios agentes da aplicação, quando estes necessitam. A reputação dos agentes é atualizada em função dos veredictos fornecidos pelo sub-sistema de julgamentos e de acordo com as normas violadas. Cada norma pode influenciar o cálculo da reputação dos agentes de forma diferente.

O sub-sistema de sanção aplica as penalidades, definidas nas normas, aos agentes que foram considerados culpados por alguma violação e restabelece a execução normal do sistema.

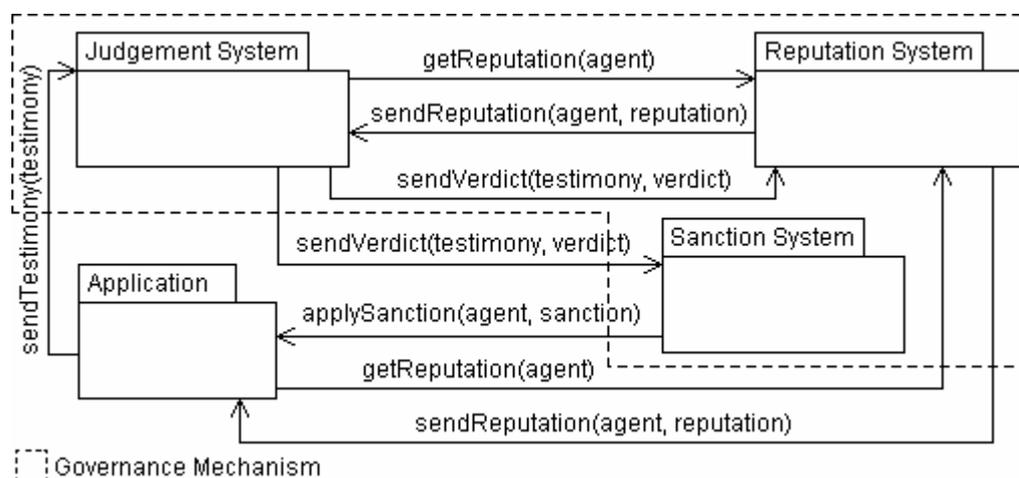


Figura 1: Arquitetura do mecanismo de governança

Os sub-sistemas de reputação e sanção estão fora do escopo deste trabalho. O sub-sistema de julgamento será detalhado a seguir.

3.2.1. Sub-sistema de Julgamento

O sub-sistema de julgamento possui três responsabilidades: Receber os testemunhos, julgar os testemunhos e enviar o veredicto sobre os testemunhos.

Foi definido um tipo agente para tratar cada uma dessas responsabilidades. Agentes do tipo *Inspector* são os responsáveis por receber os testemunhos e enviá-los a um agente do tipo *Judge*. Cada testemunho fornecido pelos agentes da aplicação deve informar, obrigatoriamente, a norma que foi violada, o agente que violou a norma e o agente que testemunhou o fato. Outras informações também podem estar contidas no testemunho de acordo com a necessidade da aplicação. Os agentes do tipo *Judge* julgam os testemunhos e fornecem um veredicto sobre a violação da norma especificada no testemunho para agentes do tipo *Broker*. Agentes do tipo *Broker* são responsáveis pela interação entre o sub-sistema de julgamento e o sub-sistema de reputação e de sanção. Durante um processo de julgamento os agentes do tipo *Judge* podem solicitar a reputação dos agentes da aplicação envolvidos no processo. Esta solicitação deve ser feita aos agentes do tipo *Broker* que deverão encaminhar a solicitação ao sub-sistema de reputação.

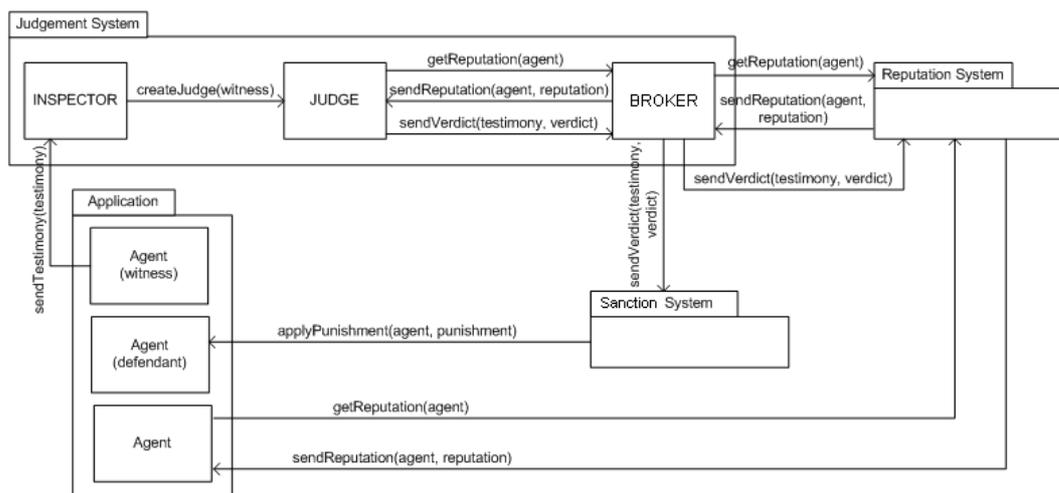


Figura 2: Interação entre os agentes que compõem o sub-sistema de julgamento

3.2.1.1.

O Processo de Julgamento

O processo de julgamento de testemunhos é composto por oito passos dos quais cinco são independentes da aplicação que utiliza este mecanismo. Apesar das estratégias de julgamento não serem totalmente independente das normas estabelecidas pela aplicação, é possível definir alguns passos comuns a qualquer estratégia de julgamento. A seguir definiremos os passos que compõem o processo de julgamento:

Passo I: Verificar se o testemunho já foi julgado.

Agentes podem enviar testemunhos sobre fatos que já foram testemunhados e julgados anteriormente. Sendo assim, o primeiro passo do

processo de julgamento verifica se o testemunho recebido está relacionado com algum dos processos de julgamentos já executados e que tenha considerado o acusado culpado. Caso esse processo exista, o novo testemunho é descartado e o processo de julgamento é cancelado. Caso contrário, o processo continua com a execução do próximo passo. É importante ressaltar que o testemunho não é descartado em casos onde o acusado viola a mesma norma mais de uma vez, mas sim em casos em que o testemunho está relacionado a um mesmo fato ou evento contido em um outro testemunho que já foi julgado anteriormente.

Passo II: Verificar quem é a testemunha.

De acordo com a hipótese VI os testemunhos enviados por agentes do tipo *Police* são considerados sempre verdadeiros. Assim, este passo verifica se o agente que está enviando o testemunho é um agente do tipo *Police*. Em caso afirmativo, o processo de julgamento é finalizado e o veredicto, anunciando que o agente acusado é culpado, é enviado.

Passo III: Verificar se a norma se aplica ao acusado.

De acordo com a hipótese V, agentes podem enviar falsos testemunhos, acusando outros agentes de terem violado normas que, de fato, não se aplicam aos supostos infratores. Para verificar a veracidade de um testemunho, é necessário verificar se a norma se aplica ao acusado, ou seja, se a norma especificada no testemunho é uma das normas que devem ser cumpridas pelo agente acusado. Se a norma não se aplicar ao agente acusado, o processo de julgamento é finalizado e o veredicto, anunciando que o agente acusado é inocente, é enviado. É importante ressaltar que, mesmo em casos de sub-contratação, o acusado será aquele que executou a ação que violou uma norma e não aquele que “contratou os serviços” de um outro agente.

Passo IV: Questionar o acusado se ele é realmente culpado.

Se a norma se aplicar ao agente acusado, o próximo passo é perguntar a ele se ele realmente violou a norma da qual ele é acusado. O fato de o acusado confessar a violação poderá ser levado em consideração pelos sub-sistemas de reputação e sanção. Se o agente confessar ser culpado, o processo de julgamento é finalizado e o veredicto, anunciando que o agente acusado é culpado, é enviado. Caso contrário, o processo de julgamento deve continuar.

Passo V: Julgar o testemunho de acordo com a norma (passo dependente da aplicação).

Se o agente acusado não confessar, é necessário verificar se ele realmente violou a norma. Para verificar a veracidade de um testemunho e conseqüentemente, se o agente acusado é realmente culpado, é necessário

utilizar diferentes estratégias para diferentes normas de diferentes aplicações. Verificar a violação de uma norma que regula interações entre agentes pode ser totalmente diferente de verificar uma norma que regula o controle de acesso a recursos. Por exemplo: Se uma norma regula o pagamento de um item e o réu está sendo acusado de não ter efetuado o pagamento deste item, uma possível estratégia é perguntar ao acusado se ele possui o recibo de pagamento assinado pela testemunha. Um outro exemplo: Se uma norma determina que um agente não deve atualizar um recurso de um banco de dados, o sistema pode utilizar a simples estratégia de verificar um registro de atualizações, caso este exista. Está claro que essas estratégias dependem da aplicação que está sendo executada, já que elas dependem das normas estabelecidas para a aplicação e do conjunto de evidências disponibilizadas no contexto da aplicação e da violação da norma.

Passo VI: Procurar depoimentos de outros agentes (passo dependente da aplicação)

Se a estratégia da aplicação não conseguiu chegar a uma conclusão se o acusado é culpado ou inocente, o sub-sistema de julgamento pode utilizar mais uma alternativa. Outros agentes também podem enviar seus relatos (depoimentos) sobre o fato ocorrido. O sub-sistema de julgamento deve então perguntar a esses outros agentes o conhecimento deles sobre a violação da norma em questão. Esse passo é dependente da aplicação, pois diferentes questionamentos podem surgir em função das normas especificadas. Diferentes interpretações poderão ser dadas e diferentes ações poderão ser executadas também em função das normas especificadas. Assim como os testemunhos, os depoimentos também são mensagens enviadas pelos agentes da aplicação ao sub-sistema de julgamento. Porém o conteúdo dessas mensagens e sua estrutura variam de acordo com cada norma especificada na aplicação. Os depoimentos são sempre enviados em resposta a uma mensagem recebida (uma solicitação de depoimento do sub-sistema de julgamento).

Passo VII: Buscar um consenso entre os depoimentos.

Depois de colher todos os depoimentos, o sub-sistema de julgamento deverá verificá-los para chegar a um veredicto. Como afirmado na hipótese V, assim como agentes podem enviar falsos testemunhos, eles também podem enviar falsos depoimentos. Portanto, esta abordagem utiliza a reputação dos agentes envolvidos para auxiliar a avaliação dos depoimentos. O consenso entre os depoimentos é alcançado utilizando o mecanismo *subjective logic* [11], detalhado na seção 3.3. Com a utilização deste mecanismo é possível avaliar os

depoimentos, considerando a reputação dos agentes, e concluir uma probabilidade do acusado ser culpado pela violação em questão.

Passo VIII: Estabelecer um veredicto.

O sub-sistema de julgamento pode fornecer três diferentes resultados para o veredicto. Um possível veredicto (i) pode anunciar que o acusado é provavelmente culpado. Um outro possível veredicto (ii) pode anunciar que o acusado é provavelmente inocente, conseqüentemente que o testemunho é provavelmente falso. Um outro possível veredicto (iii) pode não ser conclusivo. Neste último caso, o sub-sistema de julgamento não foi capaz de decidir se o agente acusado é culpado ou não de ter violado a norma.

Depois de chegar a uma conclusão é necessário enviá-la ao sub-sistema de reputação para que a reputação do agente acusado seja atualizada, caso este agente tenha sido considerado culpado, ou para que a reputação do agente que enviou o testemunho seja atualizada, caso o acusado tenha sido considerado inocente, indicando que houve um falso testemunho. O veredicto também deve ser enviado ao sub-sistema de sanção para que a punição seja aplicada ao agente culpado por ter violado a norma, ou ao agente que enviou um falso testemunho. O sub-sistema de sanção também deverá restabelecer o estado normal da aplicação caso a violação tenha realmente ocorrido.

Como agentes são entidades autônomas e de comportamento imprevisível, eles são capazes de entrarem e saírem de um ambiente a qualquer instante. Dessa forma, é possível que, no momento em que o veredicto seja concluído, o agente infrator não esteja mais habitando o ambiente em que a violação ocorreu. Sendo assim, tanto a atualização da reputação do agente infrator, quanto a aplicação da punição só se darão no momento em que ele estiver habitando o ambiente. Ou seja, cada vez que o agente infrator deixar o ambiente a atualização da reputação e a aplicação da punição devem ser suspensas. Quando este agente retornar ao ambiente, a reputação voltará a ser atualizada e a punição determinada voltará a ser aplicada.

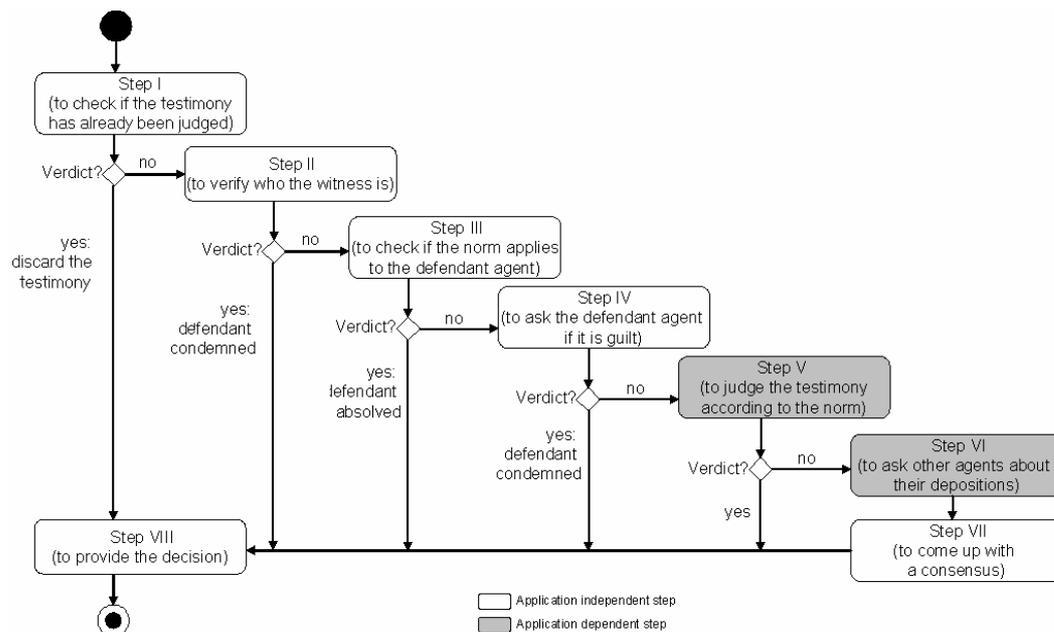


Figura 3: Diagrama de estados do processo de julgamento

3.2.1.2.

Avaliando os Testemunhos e os Depoimentos

Quando não há evidências suficientes para serem utilizadas durante o processo de julgamento para se chegar a um veredicto, o sub-sistema de julgamento pode utilizar os depoimentos de outros agentes da aplicação para finalmente concluir um veredicto, como mencionado no passo VI do processo de julgamento. Mas, como mencionado na hipótese V, agentes podem enviar falsos testemunhos, e também falsos depoimentos. Dessa forma, é necessário um mecanismo para avaliação de tais testemunhos e depoimentos, que leve em consideração a reputação dos agentes. Neste trabalho é proposta a utilização de *Subjective Logic* para prover esta avaliação, indicando a probabilidade de um agente ser culpado ou inocente pela violação de uma norma. Este mecanismo é utilizado no passo VII do processo de julgamento para ponderar os testemunhos e depoimentos, de acordo com a reputação dos agentes, e obter um consenso em relação a eles.

Em [12] foi descrito um modelo de *e-marketplace* baseado em *subjective logic* para avaliar quando o cumprimento de um contrato previamente estabelecido é quebrado. Várias evidências, de diversas fontes, são ponderadas para verificar uma provável quebra de contrato. Subjective Logic é utilizado neste caso para dar suporte a ponderação (*reasoning*) dessas evidências, que envolve o grau de confiança das partes envolvidas, a combinação entre as evidências e a obtenção de um consenso.

3.3

Subjective Logic

Subjective Logic é um *framework*, proposto por Audun Jøsang, para tratar evidências subjetivas [11]. Essa abordagem é uma extensão da lógica padrão e utiliza valores subjetivos como crença e incerteza como parâmetros, ao invés de apenas valores discretos como verdadeiro e falso. O *framework* consiste em um modelo composto por uma métrica chamada “*opinião*” e um conjunto de operações que combinam essas opiniões. Seu objetivo é avaliar proposições através de operações realizadas sobre crenças individuais e subjetivas que carregam algum grau de incerteza.

3.3.1.

Elementos de Subjective Logic

O conjunto de elementos utilizados por *Subjective Logic* será descrito a seguir:

- “Opinião” é o termo utilizado para representar a crença em uma proposição x . Ele é composto pelos conceitos crença, descrença e incerteza e é representado por: $w(x) = \langle b(x), d(x), u(x) \rangle$;
- $b(x)$ representa o grau de crença (*belief*) sobre a proposição x . É a probabilidade subjetiva de x ser verdadeiro;
- $d(x)$ representa o grau de falta de crença (*disbelief*) sobre a proposição x . É a probabilidade subjetiva de x ser falso;
- $u(x)$ representa o grau de incerteza (*uncertainty*) sobre a proposição x . A incerteza deve ser interpretada como a probabilidade subjetiva da ausência de evidências que garantam a crença ou a descrença de uma proposição x .
- $b(x), d(x), u(x) \in \mathbb{R} [0..1]$;
- $b(x) + d(x) + u(x) = 1$;
- $w^A(x)$ representa a opinião de um agente A sobre a proposição x .

3.3.2.

Operadores de Subjective Logic

Existe um conjunto de operadores descritos em [18] tais como *conjunction* (\wedge), *disjunction* (\vee), *negation* (\neg), *recommendation* (\otimes), *consensus* (\oplus), entre outros. Neste trabalho, estaremos interessados apenas nos operadores *consensus* (\oplus) e *recommendation* (\otimes).

Consensus (\oplus): Esse operador deve ser utilizado para combinar duas ou mais opiniões independentes sobre a mesma proposição em uma única opinião. Considerando a existência de dois agentes A e B de forma que A possui uma opinião sobre a proposição x e B possui uma opinião, diferente do agente A, sobre a mesma proposição x , o operador *consensus* é utilizado para combinar essas duas opiniões e formar uma única opinião. O resultado do consenso entre duas opiniões diferentes deve ser uma única opinião que considere as duas opiniões iniciais de forma justa e igual [18]. O operador *consensus* é utilizado da seguinte forma:

- $w^A(x) = \langle b^A(x), d^A(x), u^A(x) \rangle$ representa a opinião do agente A sobre a proposição x ;
- $w^B(x) = \langle b^B(x), d^B(x), u^B(x) \rangle$ representa a opinião do agente B sobre a proposição x ;
- $w^{A,B}(x) = w^A(x) \oplus w^B(x)$ representa o consenso entre a opinião do agente A sobre a proposição x e a opinião do agente B sobre a mesma proposição x ;
- $w^{A,B}(x) = \langle b^{A,B}(x), d^{A,B}(x), u^{A,B}(x) \rangle$ e deve ser calculado como segue para $k \neq 0$:
 - $b^{A,B}(x) = (b^A(x) u^B(x) + b^B(x) u^A(x)) / k$;
 - $d^{A,B}(x) = (d^A(x) u^B(x) + d^B(x) u^A(x)) / k$;
 - $u^{A,B}(x) = (u^A(x) u^B(x)) / k$;
 - $k = u^A(x) + u^B(x) - u^A(x)u^B(x)$.

Recommendation (\otimes): Considerando a existência de dois agentes A e B de forma que A possui uma opinião sobre B e B possui uma opinião sobre a proposição x . O operador *recommendation* deve fornecer o resultado da combinação da opinião do agente A sobre o agente B e da opinião do agente B sobre a proposição x . O resultado dessa combinação representa a opinião final que o agente A terá sobre a proposição x . O operador *recommendation* é utilizado da seguinte forma:

- $w^A(B) = \langle b^A(B), d^A(B), u^A(B) \rangle$ representa a opinião do agente A sobre o agente B;
- $w^B(x) = \langle b^B(x), d^B(x), u^B(x) \rangle$ representa a opinião do agente B sobre a proposição x ;
- $w^{A:B}(x) = w^A(B) \otimes w^B(x)$ representa a opinião do agente A sobre a opinião que o agente B possui sobre a proposição x , ou seja a opinião final que o agente A terá sobre a proposição x . $w^{A:B}(x)$ ser calculado como segue:

- $b^{A:B}(x) = b^A(B) b^B(x)$;
- $d^{A:B}(x) = b^A(B) d^B(x)$;
- $u^{A:B}(x) = d^A(B) + u^A(B) + b^A(B) u^B(x)$.

3.3.3.

Analizando a Utilização de *Subjective Logic*

Quando não existem evidências concretas sobre o fato relatado em um testemunho, o grande desafio relacionado ao julgamento desses testemunhos é determinar uma opinião (veredicto) em função de fatos observados por agentes e em função da confiança que se tem nesses agentes. A confiança, no contexto deste trabalho, está relacionada ao grau de certeza que se pode ter na veracidade de uma afirmação (proposição) feita por um agente. *Subjective Logic* é uma abordagem capaz de tratar proposições binárias (i.e. verdadeiras ou falsas) com a presença de incerteza e ignorância, aqui representadas pela confiança nos agentes. Portanto, sua utilização no julgamento de testemunhos se mostra adequada.

Ao julgar um testemunho, muitas vezes é necessário colher informações de diversas fontes distintas sobre um mesmo fato. Ao avaliar tais informações, deve-se primeiro avaliar a confiança que se pode ter na fonte da informação e posteriormente, combinar todas as informações de forma justa e igual. *Subjective Logic* oferece os operadores *Recommendation* e *Consensus*. O primeiro permite que essas informações sejam avaliadas segundo a confiança que se tem na fonte da informação colhida. Já o segundo combina todas as informações, formando uma única opinião (veredicto) sobre fato contido nas informações.

A principal vantagem sobre a utilização de *subjective logic* é que ela oferece uma representação formal que permite uma tomada de decisão baseada na combinação de diversas evidências (operador *consensus*), avaliando, através da reputação, o quão confiáveis são tais evidências (operador *recommendation*).

A principal desvantagem da utilização desse método no julgamento dos testemunhos é que o resultado de um julgamento é expresso em termos de probabilidade, podendo haver casos de condenação em que, de fato, o acusado não era culpado, ou casos de absolvição em que, de fato, o acusado era culpado.

Subjective logic possui fundamentos matemáticos baseados em “*Bayesian probability*”, que apresenta um *framework* para tomada de decisões na presença de proposições que possuem algum grau de incerteza [52], e em “*Dempster-*

Shafer Theory”, apresentado por Arthur P. Dempster em meados dos anos 60 e posteriormente estendida por Glenn Shafer, que em 1976 publicou o trabalho “*Mathematical Theory of Evidence*” [51]. Em [51], foi apresentada como uma abordagem para calcular probabilidades mínimas e máximas sobre a ocorrência de um evento baseado em evidências subjetivas.

A utilização de *subjective logic* foi proposta em trabalhos sobre análise de confiança [53], autenticação [54], ponderação legal (*legal reasoning*) [55], e-*marketplaces* [12] e sistemas de detecção de invasão [56].

3.3.4.

Aplicando Subjective Logic na Avaliação dos Testemunhos e Depoimentos

O objetivo ao avaliar testemunhos e depoimentos é obter um consenso entre os diferentes testemunhos e depoimentos sobre a violação de uma norma (proposição x) considerando a reputação dos agentes envolvidos. Para tanto é importante entender o que um testemunho / depoimento representa no contexto de *subjective logic*. O testemunho ou o depoimento de um agente A atestando algo sobre a violação de norma pode ser considerado como a opinião do agente A sobre a violação desta norma, $w^A(x)$.

Os testemunhos e depoimentos serão avaliados pelo agente *Judge* (pertencente ao sub-sistema de julgamento) de acordo com a sua própria opinião sobre os agentes que enviaram esses testemunhos / depoimentos, ou seja, $w^J(A)$, onde A é um dos agentes que enviou o testemunho / depoimento sobre a violação de uma norma. Essa opinião é influenciada não só pela reputação de A (que pode variar de 0 a 1) [16], mas também pelo número de normas que o agente A violou, pela data em que A entrou na aplicação e pela data em que A cometeu sua última violação de norma (caso alguma tenha ocorrido). Esses três aspectos são fornecidos pelo sub-sistema de reputação.

Depois avaliar a opinião que o agente *Judge* possui sobre cada agente que enviou um testemunho ou depoimento, é necessário avaliar a opinião que o agente *Judge* possui em relação a opinião que cada agente possui sobre o seu próprio testemunho / depoimento, ou seja $w^{J:A}(x)$. Esta opinião é obtida utilizando o operador *Recommendation* entre a opinião do agente *Judge* em relação ao agente que enviou um testemunho e a opinião deste agente sobre violação de uma norma, ou seja $w^J(A) \otimes w^A(x)$. Por último, depois de obter a opinião do agente *Judge* em relação aos testemunhos / depoimentos enviados pelos agentes, é necessário combinar a todas essas opiniões para obter uma opinião

final (veredicto) sobre a violação de uma norma, utilizando o operador *Consensus*.

3.3.4.1.

A Opinião do Agente *Judge* em Relação aos Agentes da Aplicação

Além da reputação dos agentes, o sub-sistema de julgamento leva em consideração outros aspectos na formação da opinião do agente *Judge* em relação aos agentes da aplicação, pois a reputação dos agentes não distingue (i) agentes novos dos agentes antigos, (ii) agentes que violaram muitas normas dos agentes que violaram poucas ou nenhuma e (iii) agentes que violaram alguma norma recentemente (e não tem mais sua reputação influenciada por esta violação) dos agentes que violaram alguma norma há tempos. Nesta abordagem, a reputação de um agente, fornecida pelo sub-sistema de reputação, é utilizada como um dos meios de punição. Ela é constantemente afetada durante o tempo em que o agente que violou a norma é punido por tal violação. A reputação deste agente é diminuída em um fator no momento em que o sub-sistema de julgamento envia um veredicto (atestando a culpa ou um falso testemunho de um agente) ao sub-sistema de reputação, e é gradualmente aumentada com o passar do tempo. Os atributos que determinam o fator da diminuição, o tempo e o fator em que a reputação é aumentada estão descritos na norma. Ao término do cumprimento da punição, a reputação do agente que violou a norma será igual a um. Dessa forma, pode haver casos em que dois agentes possuam reputações iguais mais um agente pode ter violado mais normas, ou violado uma norma mais recentemente que o outro.

Dessa forma, os aspectos i, ii e iii são agrupados e ordenados, dando maior prioridade para (i) agentes mais antigos, (ii) agentes que violaram menos normas e (iii) agentes que não violam normas há mais tempo. Os agentes envolvidos em um processo de julgamento são ordenados segundo cada um dos aspectos, e para cada agente é atribuído um valor para cada aspecto que varia de 1 a n, onde n representa o número de agentes envolvidos, 1 indica menor prioridade e n indica maior prioridade. Por exemplo, ao comparar três agentes segundo o aspecto (i), o agente que violou menos normas receberá o valor 3 e o agente que violou mais normas receberá o valor 1, enquanto que o outro agente receberá o valor 2 para este aspecto. Em caso de empates segundo qualquer aspecto, os agentes receberão o mesmo valor para o aspecto em que eles estão empatados. Por exemplo, ao comparar três agentes segundo o aspecto (i), o agente que violou menos normas receberá o valor 3 e os outros dois agentes,

que violaram o mesmo número de normas, receberão valor 2. O valor 1 não será atribuído a qualquer um dos agentes.

Combinando os valores atribuídos aos três aspectos de um agente da aplicação com a sua reputação, obtém-se o valor relacionado a crença que o agente *Judge* possui em relação a este agente, ou seja $b^J(A)$. Esta combinação é efetuada como segue:

$$b^J(a) = \text{rep}(a) * (wNn(a) + wDs(a) + wDlv(a)) / 3*n \quad (1)$$

A reputação do agente A é ponderada com o valor atribuído aos três aspectos, e com a quantidade de agentes (n) envolvidos no processo de julgamento. O aspecto (i), que considera o número de normas violadas ($wNn(a)$), com o valor atribuído ao aspecto (ii), que considera o número de dias percorridos desde que o agente entrou na aplicação ($wDs(a)$) e com o valor atribuído ao aspecto (iii), que considera o números de dias que se passaram depois da última violação de norma ($wDlv(a)$).

3.3.4.2.

A Opinião do Agente *Judge* em Relação aos Testemunhos e Depoimentos Fornecidos pelos Agentes.

Depois de calculada a crença que o agente *Judge* possui em relação aos agentes envolvidos no processo de julgamento, é necessário determinar a opinião que o agente *Judge* possui em relação a opinião de um agente em relação ao seu testemunho / depoimento sobre a violação de uma norma, ou seja, $w^{J:A}(x)$. O operador *recommendation*, apresentado na seção 3.3.2, será utilizado para gerar essa opinião, como segue:

$$w^{J:A}(x) = w^J(a) \otimes w^A(x) = \langle b^{J:A}(x), d^{J:A}(x), u^{J:A}(x) \rangle \quad (2)$$

Onde:

- $b^{J:A}(x) = b^J(a)b^A(x)$;
- $d^{J:A}(x) = b^J(a)d^A(x)$;
- $u^{J:A}(x) = d^J(a)+u^J(a)+b^J(a)u^A(x)$;
- $d^J(a)+u^J(a) = 1 - \text{rep}(a) * (wNn(a)+wDs(a)+wDlv(a))/3*n$ já que $b^J(a)+d^J(a)+u^J(a) = 1$ e $b^J(a) = \text{rep}(a)*(wNn(a)+wDs(a)+wDlv(a))/3*n$.

3.3.4.3.

A Opinião do Agente *Judge* em Relação a Violação da Norma

Visto que podem existir vários testemunhos e depoimentos em um único processo de julgamento, todos esses testemunhos e depoimentos devem ser combinados para se obter uma única opinião do agente *Judge* em relação a

violação da norma. O operador *consensus* é utilizado para que se possa obter essa única opinião da forma como segue:

$$w^{J:(A,B,C)}(x) = (w^J(A) \otimes w^A(x)) \oplus (w^J(B) \otimes w^B(x)) \oplus (w^J(C) \otimes w^C(x)) \quad (3)$$

Onde A, B C são agentes envolvidos no processo e enviaram seus testemunhos / depoimentos sobre a violação de uma norma (proposição x).

Considerando $w(x) = \langle b(x), d(x), u(x) \rangle$, $b(x)$ representa a probabilidade do acusado ter violado a lei, $d(x)$ representa a probabilidade não ter violado a lei e $u(x)$ representa o grau de incerteza (probabilidade) sobre o resultado do julgamento.